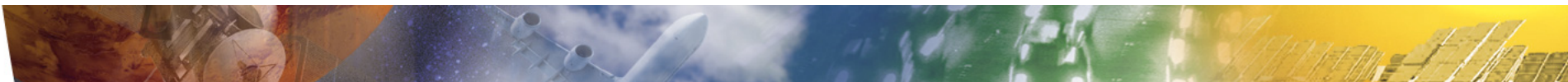


Hochtemperatur-Wasserelektrolyse – Ergebnisse aus dem EU-Projekt Hi2H2

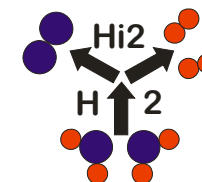
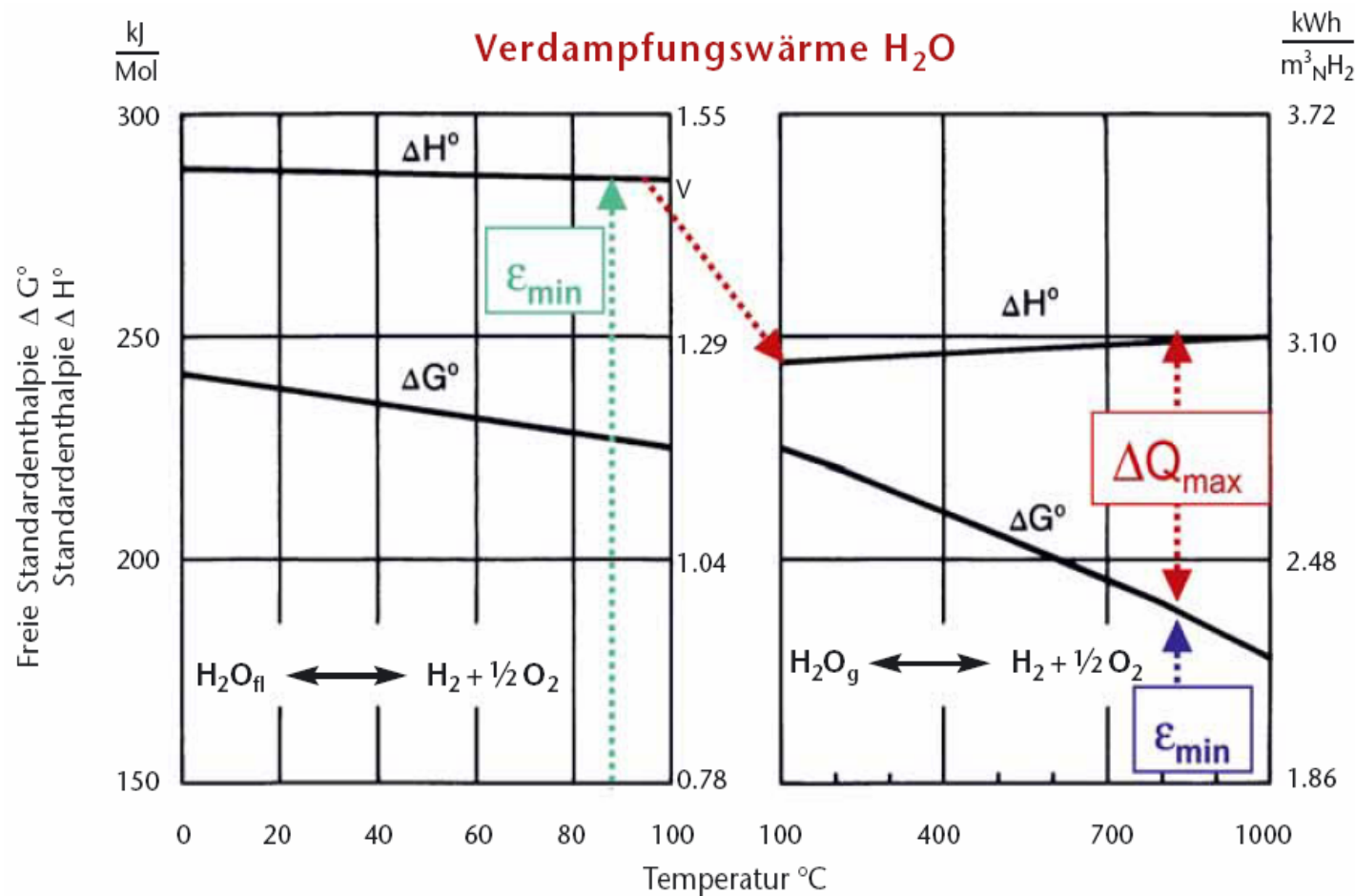
Dr. Günter Schiller, DLR Stuttgart

NOW Workshop Regenerativer Wasserstoff aus der Elektrolyse

Ulm, 7. Juli 2008

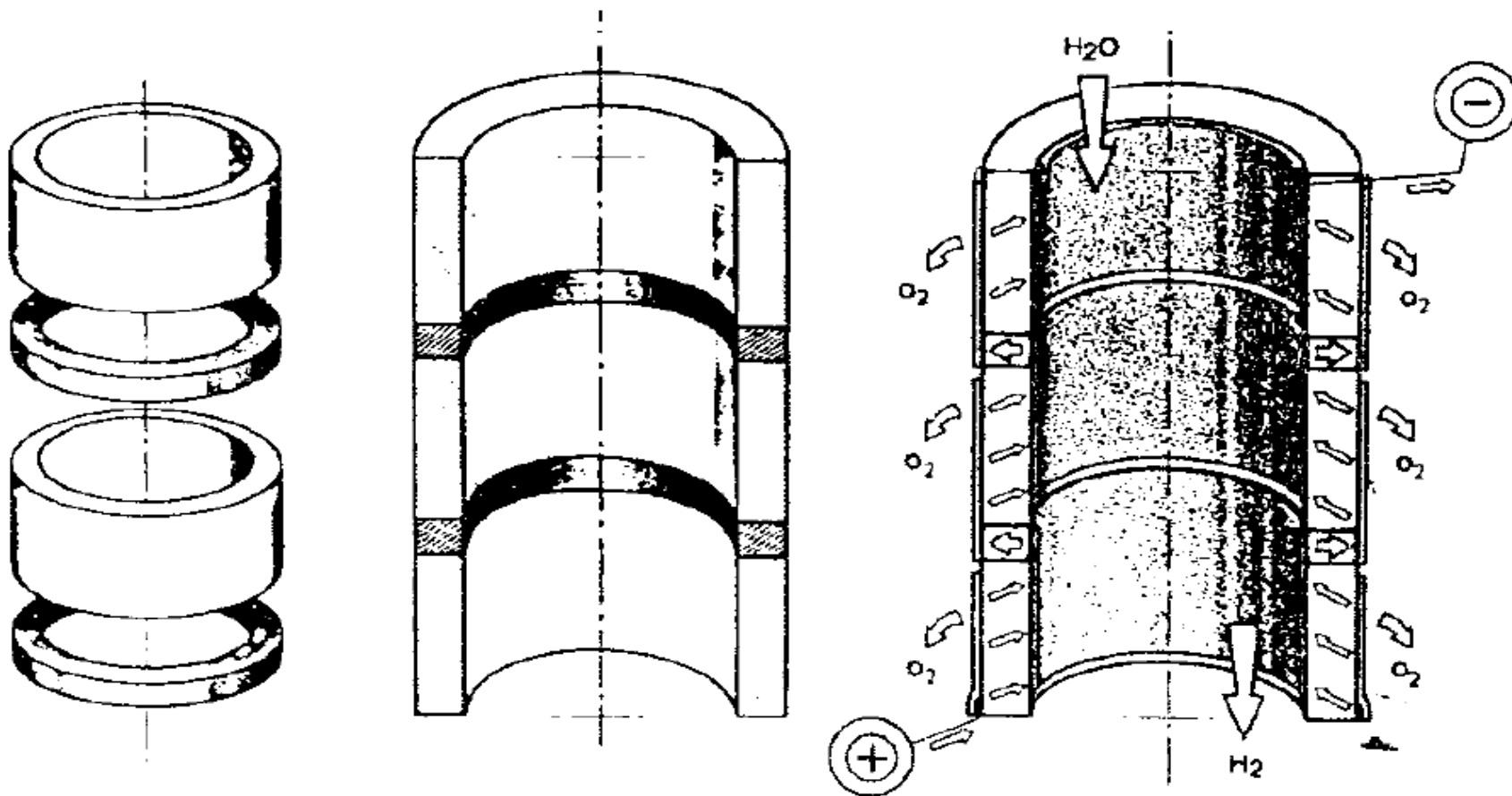


Thermodynamik der Elektrolysereaktion



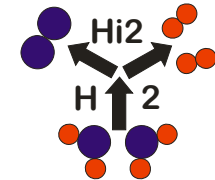
Quelle: Schnurnberger, W., Wittstadt, U. and Janßen, H. (2004) Wasserspaltung mit Strom und Wärme. In: Themenheft 2004: Wasserstoff und Brennstoffzellen - Energieforschung im Verbund, url: http://www.fv-sonnenenergie.de/publikationen/gesamt_07.pdf.

Hot Elly de DORNIER



EU-Projekt Hi2H2

Highly Efficient High Temperature Hydrogen Production by Water Electrolysis



Projektziele:

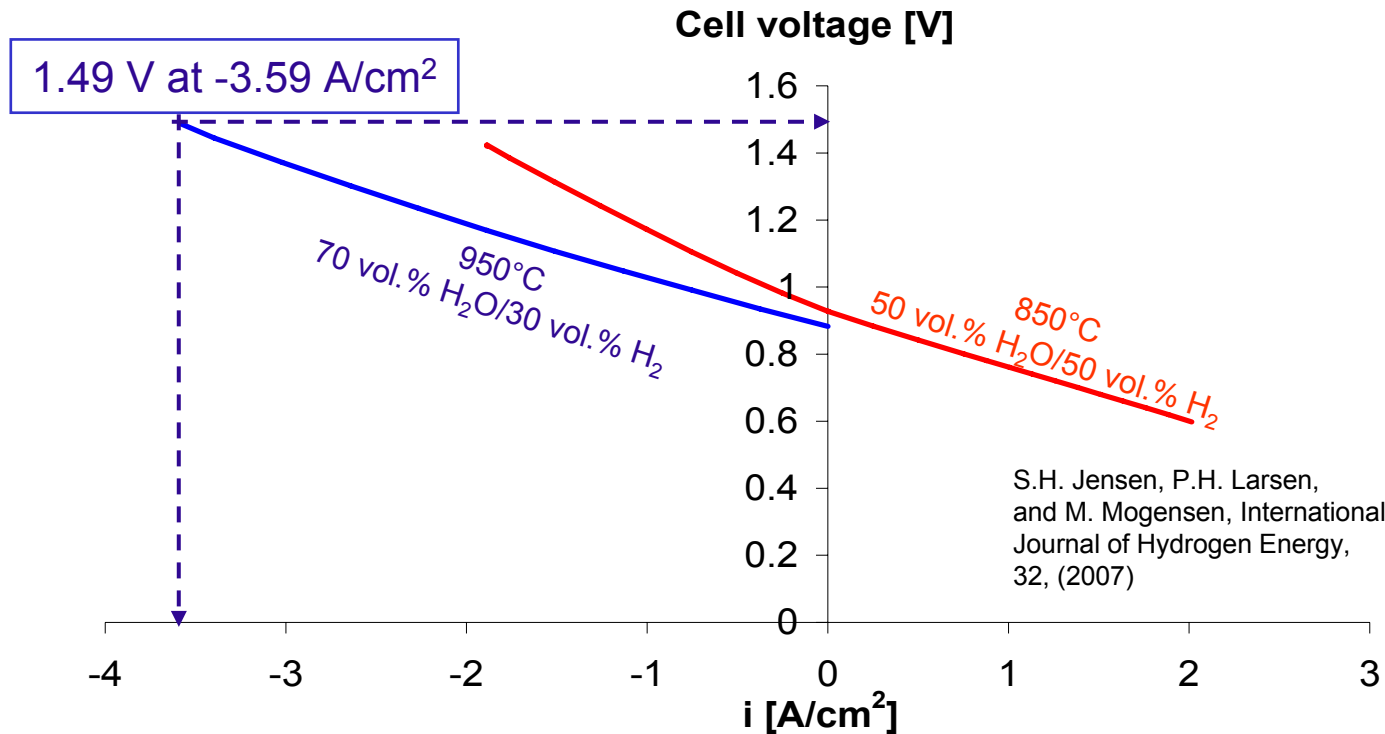
- Demonstration der Eignung der planaren SOFC-Technologie für den Einsatz in der HT-Wasserelektrolyse mit
 - Sinterzellen mit H₂-Elektrode als Tragestruktur (Risoe/DTU, EIfER)
 - Plasmagespritzte Zellen mit Metallsubstrat als Tragestruktur (DLR)
- Analyse der Degradationsmechanismen und der Einsatzgrenzen von SOFC-Zellen im Elektrolysebetrieb
- Entwicklung neuer Materialien für korrosionsbeständige HT-Elektrolyseure
- Betrieb eines 2-Zellen-Shortstacks über 2000 h mit Degradation <1%/1000 h bei -0,3 A/cm²



Project achievements – Single cell

I/V curves at 950°C – Extremely high current density and high performance

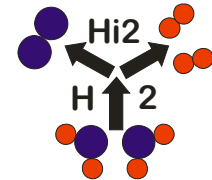
WORLD RECORD!



ASR H_2O electrolysis at 950 °C: $0.14 \Omega \text{ cm}^{-2}$

ASR H_2O electrolysis at 850 °C: $0.20 \Omega \text{ cm}^{-2}$

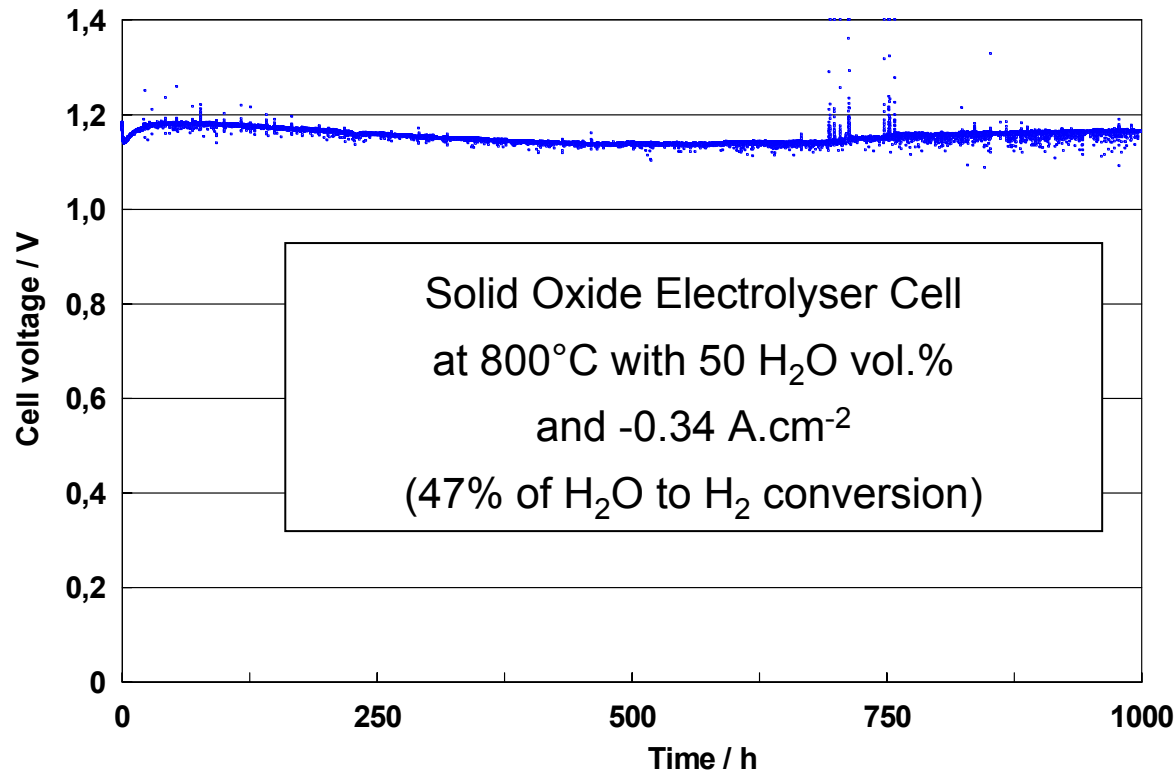
Cell active area: 16 cm^2



Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V.
in der Helmholtz-Gemeinschaft

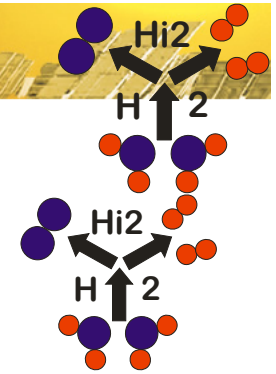
NOW Workshop, Ulm, 07.07.2008

Project achievements – Single cell



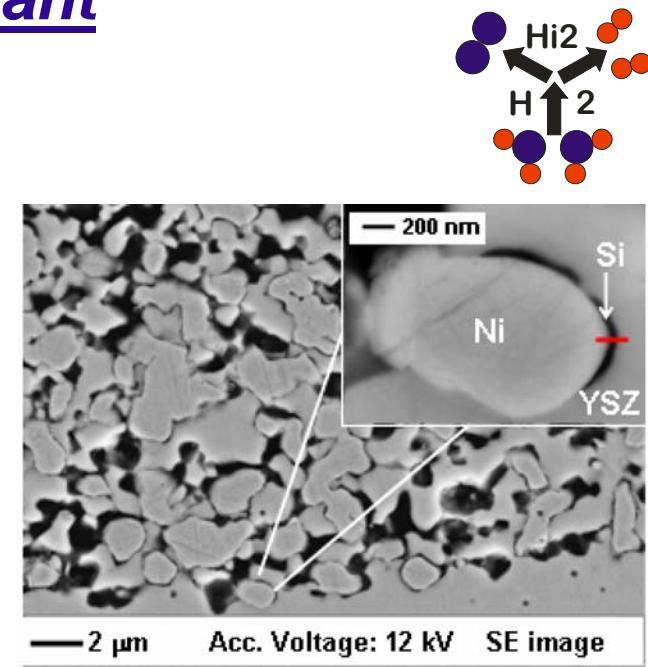
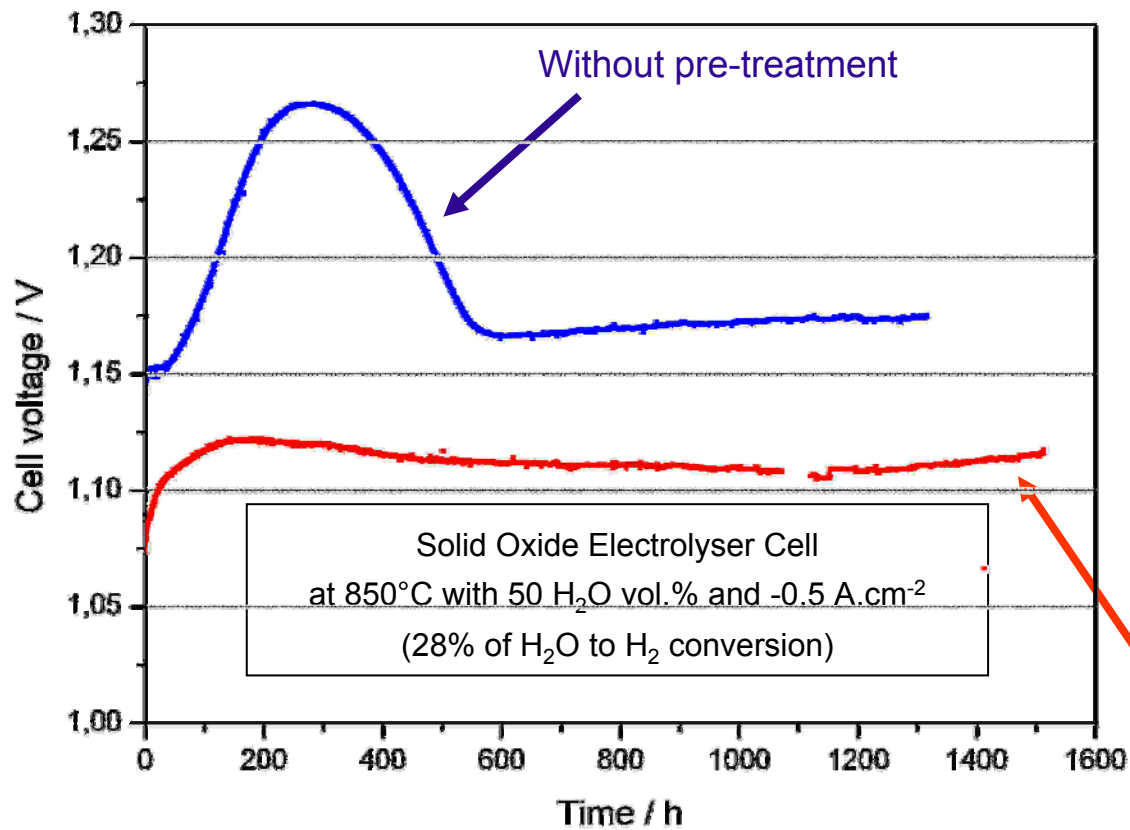
Cell degradation:
1.14 => 1.16 V : 1.7%

A. Brisse, M. Marrony, D. Perednis, J. Schefold,
M. Jose-Garcia, M. Zahid, Proceeding at the
World Hydrogen Technology Convention, (2007).



Cell degradation < 2%/1000 h

SRU-sealed mode: Glass sealant



EMPA

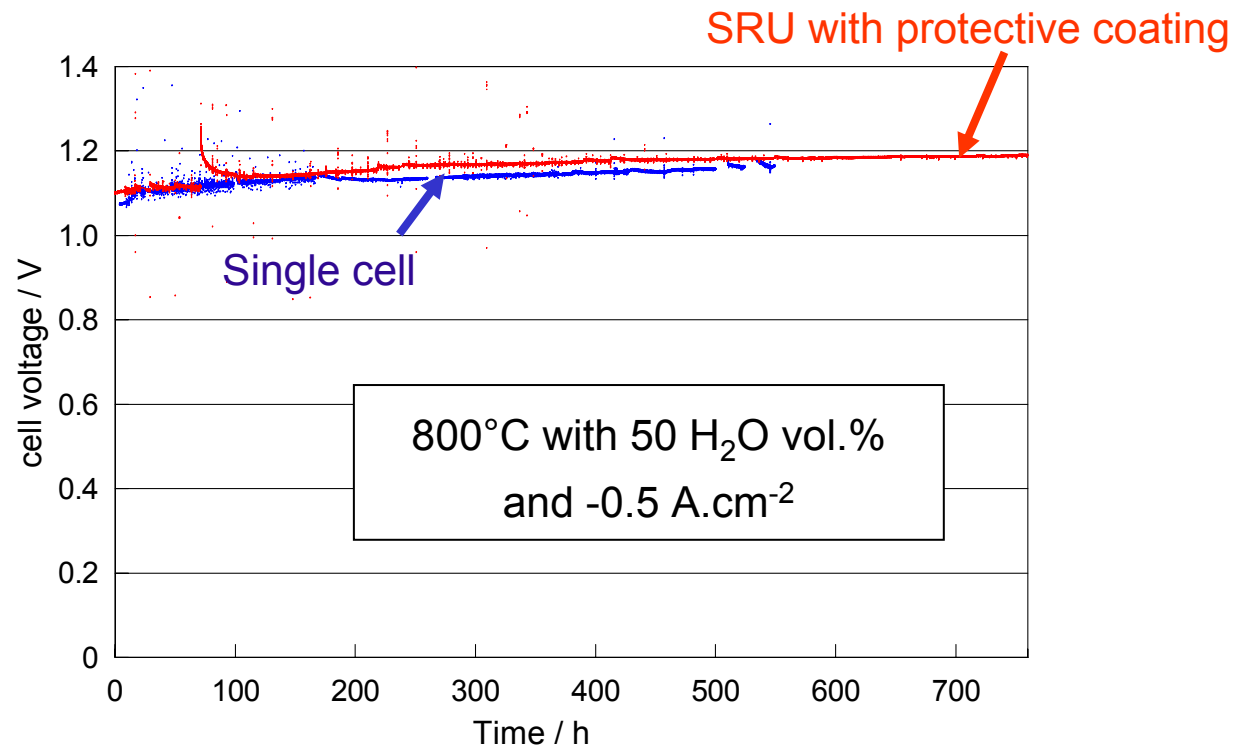
Pre-treatment
Glass sealing exposed to
18 l/h H₂O and 2 l/h O₂ at the
Ni/YSZ side for 12 days at 950°C



A. Hauch, SH Jensen, J.B. Bilde-Sorensen, and M. Mogensen, Journal of the Electrochemical Society, 154, pp. A619-A626, (2007).

Project achievements

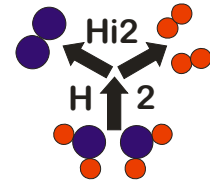
SRU with protective coatings



Increase of 40 mV compared to the single cell voltage

Similar degradation of the protected SRU than the single cell

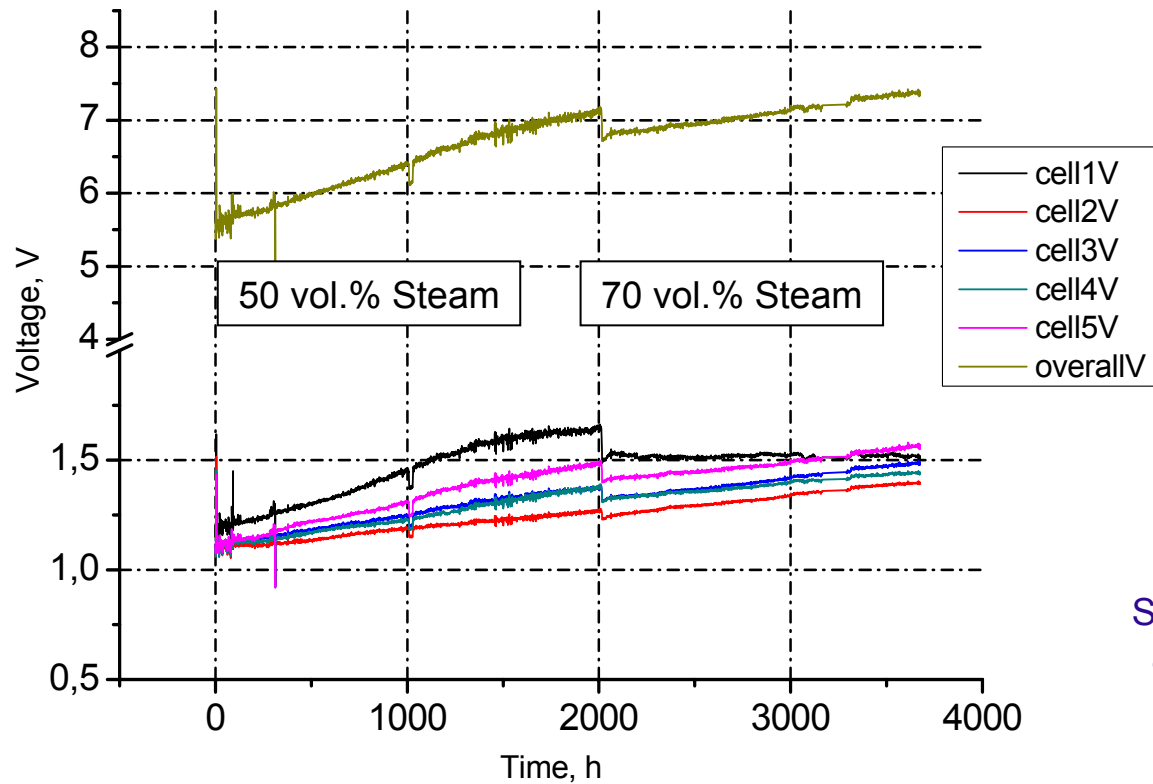
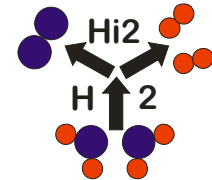
Stable behaviour the protective coating



Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V.
in der Helmholtz-Gemeinschaft

NOW Workshop, Ulm, 07.07.2008

High Temperature Electrolyser Stack
at 800°C with 50 H₂O vol.% and -0.3 A.cm⁻²
(47% of H₂O to H₂ conversion)



Stack degradation is mainly
attributed to cells 1 and 5
(bottom and top cells
respectively)



3500 hrs of operation without stack failure

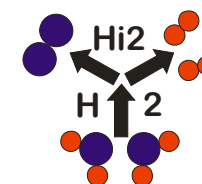
~ 15%/1000 h of degradation during the first 2000 hrs

Decrease of the degradation (~ 6%/1000 h) after the steam content increase



Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V.
in der Helmholtz-Gemeinschaft

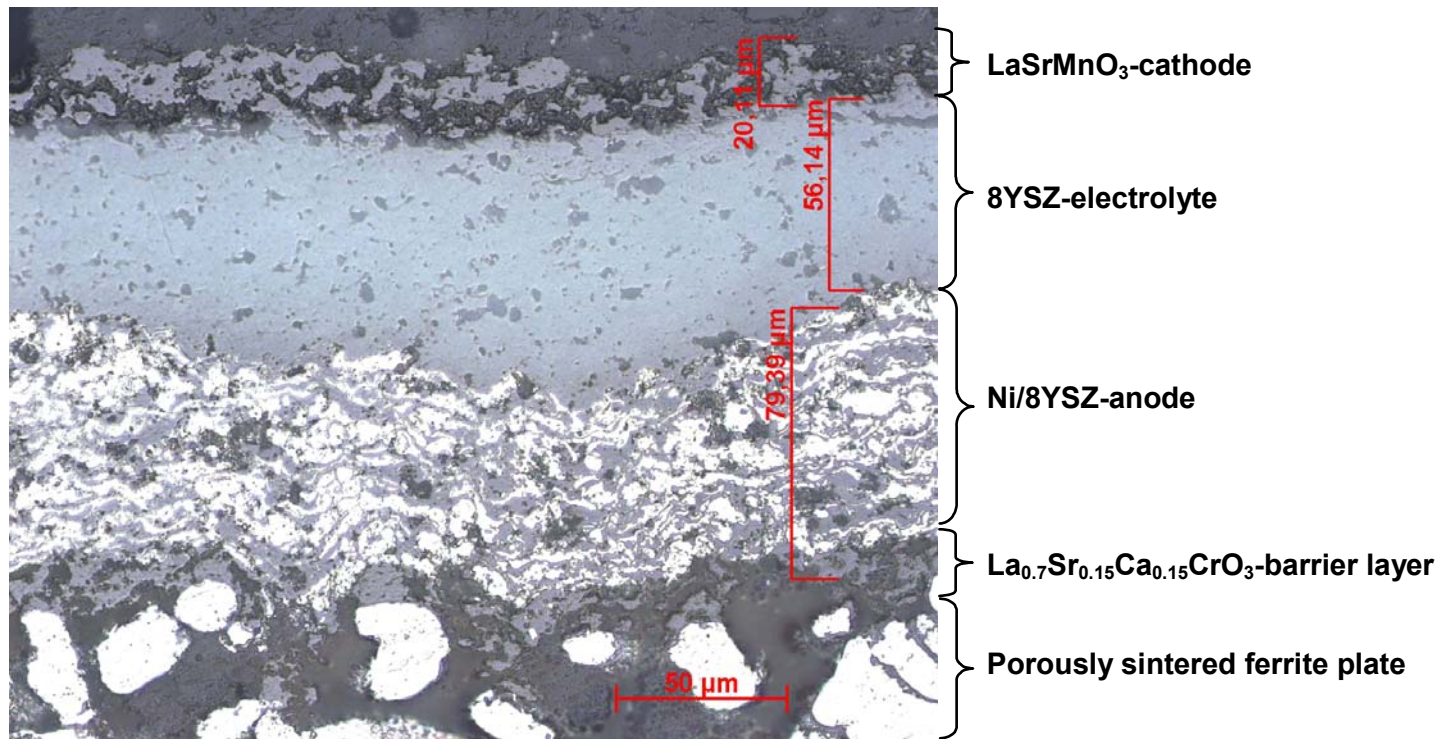
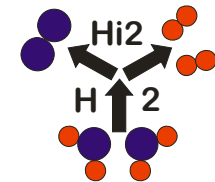
Überblick über beim DLR getestete Zellen

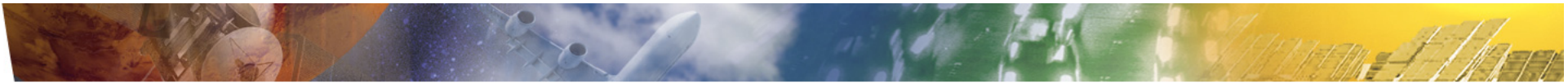


Nomenclature	Substrate	Barrier layer	Cathode	Period	Comment	Fuel Cell Mode	Electrolysis Mode	Variations	Long-Term Measurement	EIS ocv loaded	Polished Micrograph Section	Further Investigation
BekNi 274-3	Ni-Felt	LSM	Screenpr.			x	x	50/70%	320 h			
BekNi 275-3		LSM	Screenpr.			x	x		221 h			
ITV3_060703	IT11	LSM	Screenpr.	16.09.-22.09.	Air cut off	x	x		114 h, 0.20 Acm ⁻²			
ITV3_060702				27.09.-28.09.	Reduction, Reference							to EMPA
ITV2_060703		LSM	Screenpr.	30.11.-19.12.	Performance Collapse	x	x		50 h, 0.20 Acm ⁻² 98 h, 0.15 Acm ⁻²	x		to EMPA, Linescan
IT 126		VPS	LSM Screenpr.	19.01.-01.02.	Canceled due to Thermocycle and Restart Problems	x	x		36 h, 0.15 Acm ⁻² 75 h, 0.2 Acm ⁻²	x	x	to EMPA Fractured, Point/EDX
IT 125		VPS	LSM Screenpr.	01.02.-05.02.	Reduction, Reference							
IT 100		VPS	LSM Screenpr.	08.02.-05.03.	Furnace Breakdown	x	x	50-90% Temp.	166 h, 0.15 Acm ⁻² 10 h, 0.25 Acm ⁻²	x	x	to EMPA
IT 18		VPS	LSCF VPS	15.03.-18.03.	Reduction, Reference							
IT 28		PVD	LSCF VPS	19.03.-29.06.	Completely Plasmasprayed	x	x	Temp.	>2200 h, 0.3 Acm ⁻²	x		
IT 4 and IT 5		VPS	LSCF VPS	22.06.-	Interconnect Measurements	x	x	Temp.	400 h, 0.3Acm ⁻²	x		
IT 25		PVD	LSM VPS	09.07.-10.07.	Reduction, Reference							
IT 27		PVD	LSM VPS	10.07.-	Interconnect Measurements	x	x		115 h, 0.3 Acm ⁻²	x		

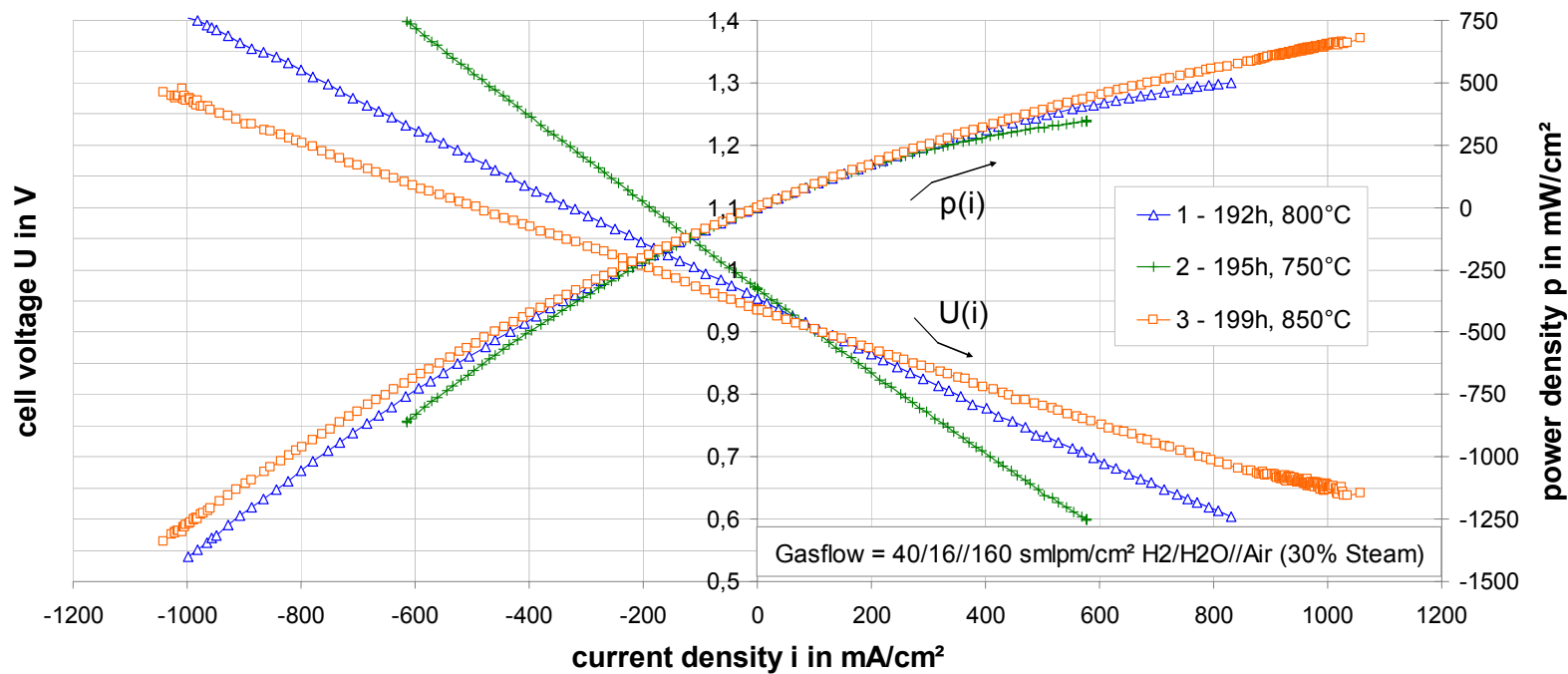
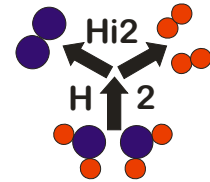


Metallographischer Querschliff einer VPS-Zelle mit Diffusionssperrschicht

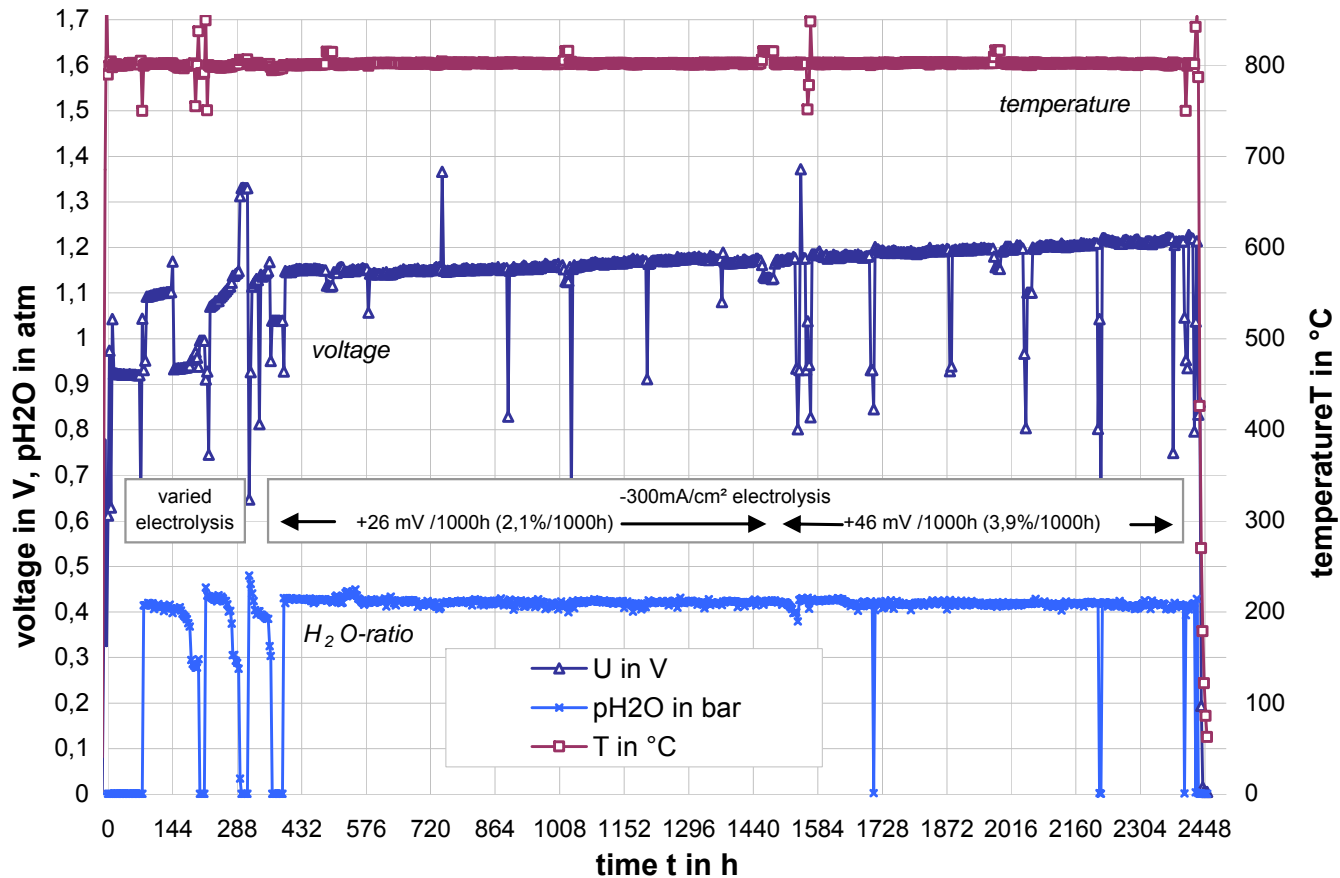
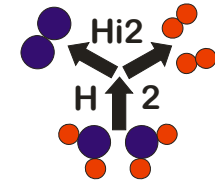


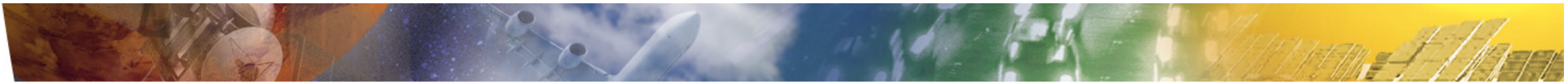


U-i-Kennlinien von Zelle IT28 im Brennstoffzellen- und Elektrolysebetrieb als Funktion der Temperatur

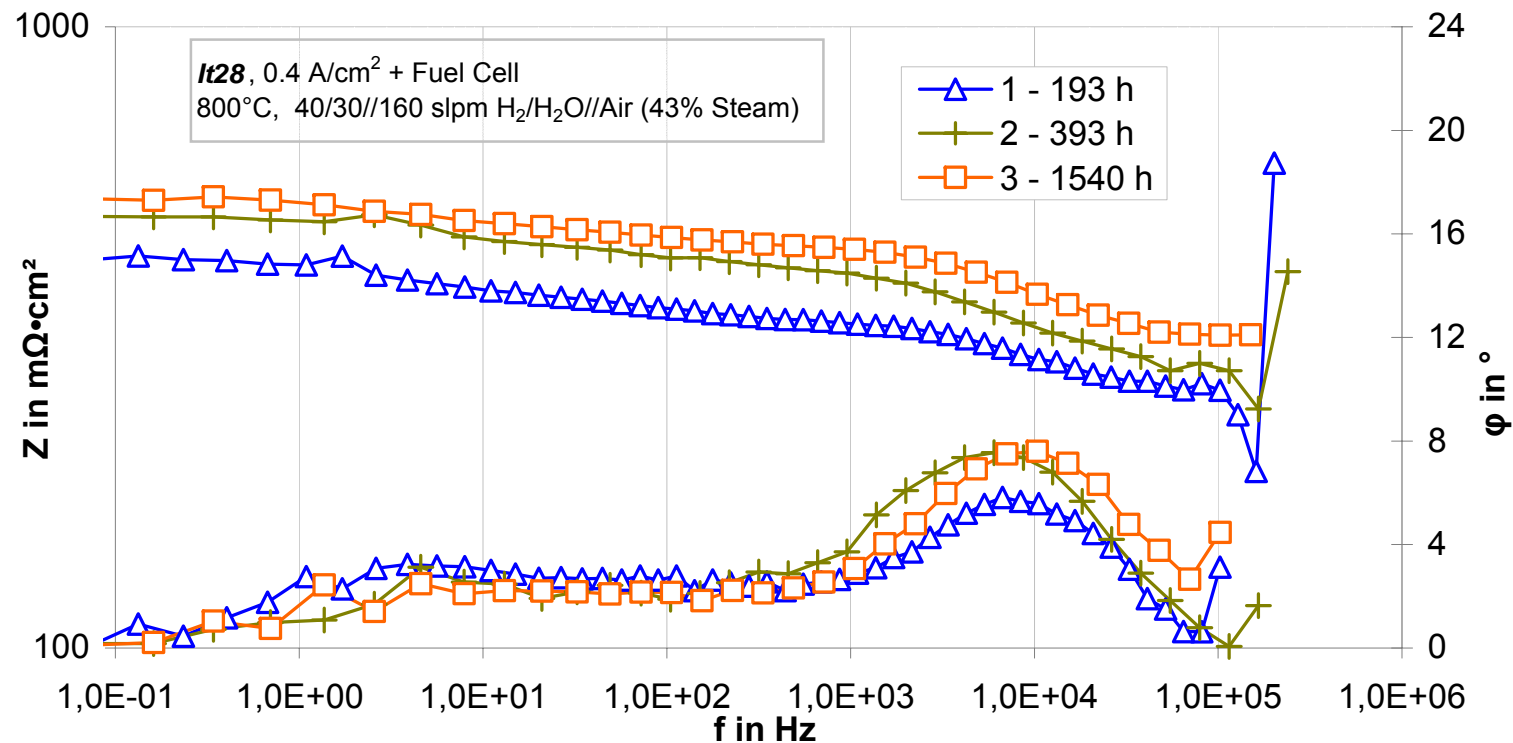
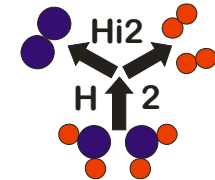


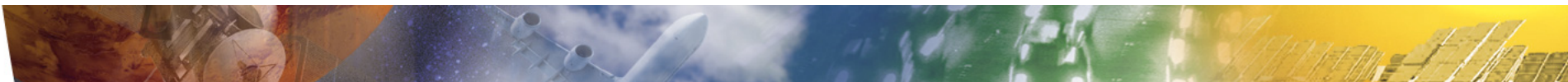
Langzeitverhalten von Zelle IT28 im Elektrolysebetrieb



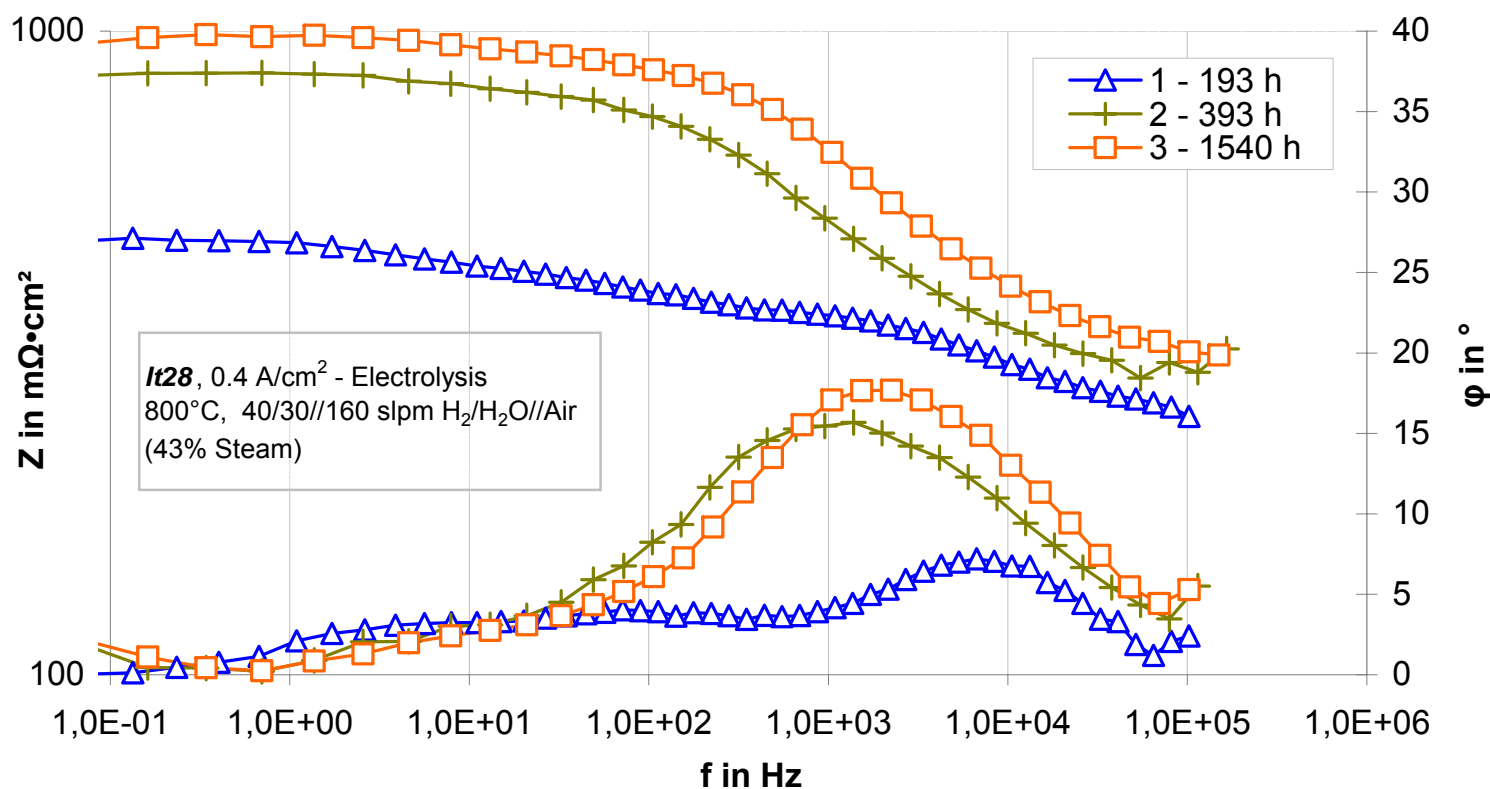
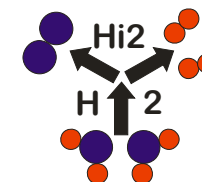


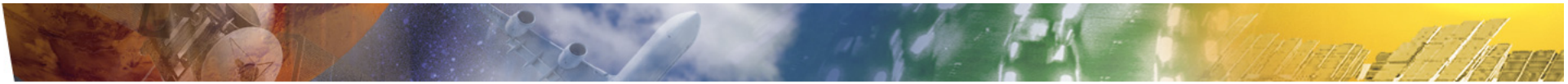
Impedanzspektren von Zelle IT28 bei 400 mA/cm² im Langzeit-Brennstoffzellenbetrieb



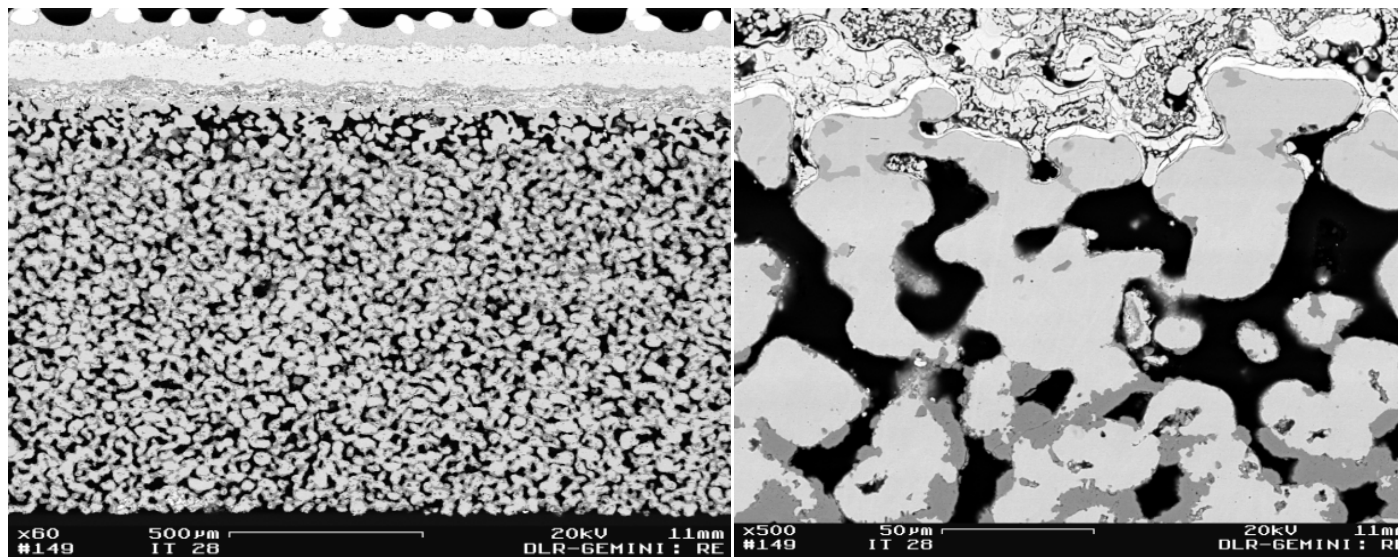
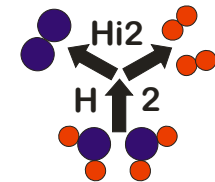


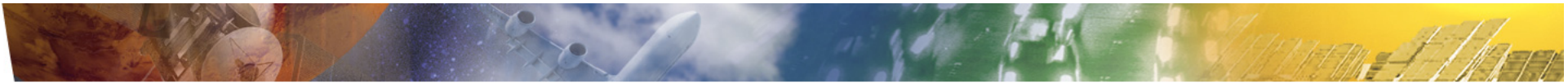
Impedanzspektren von Zelle IT28 bei 400 mA/cm² im Langzeit-Elektrolysebetrieb



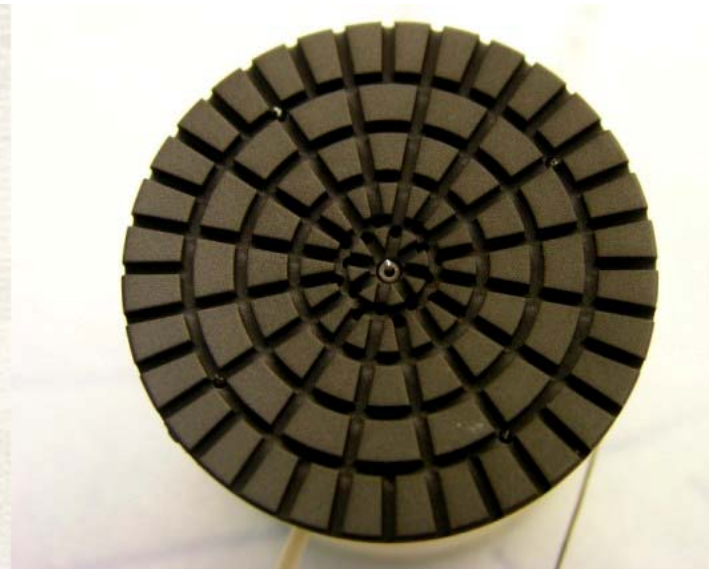
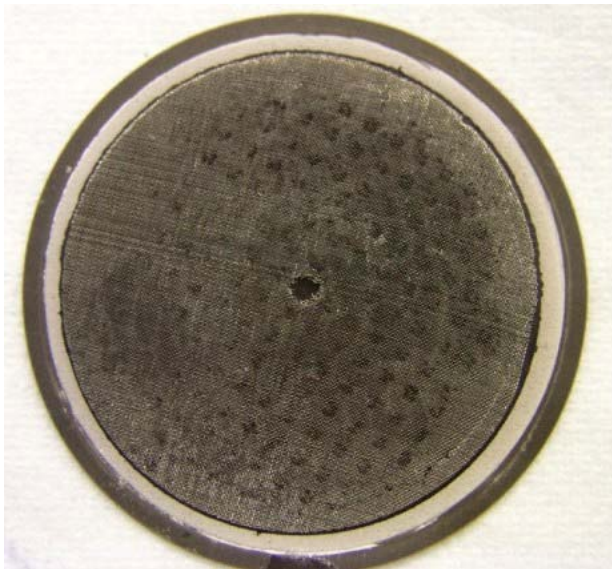
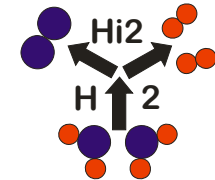


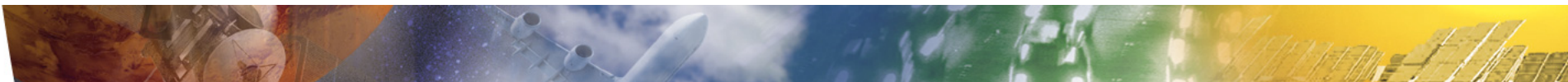
REM-Aufnahmen von Querschliffen der Zelle IT28 nach 2425 Betriebsstunden



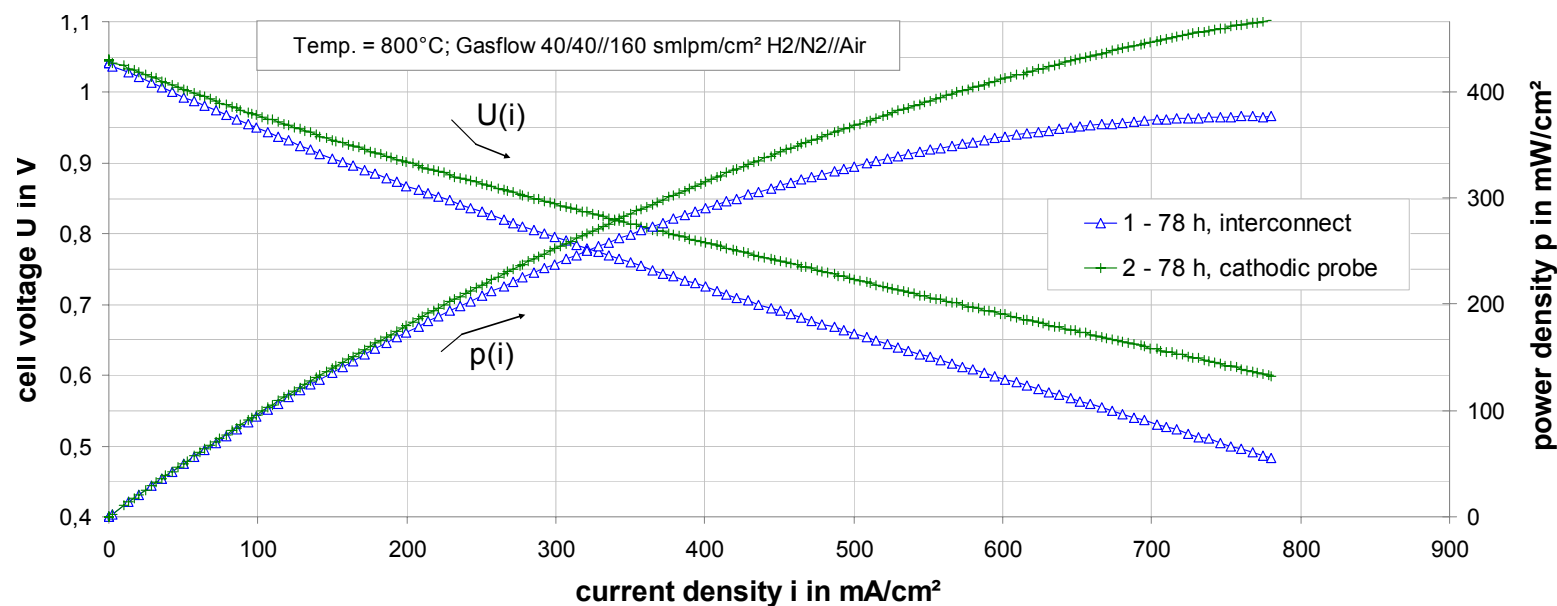
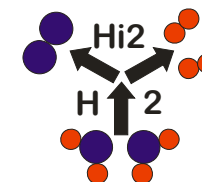


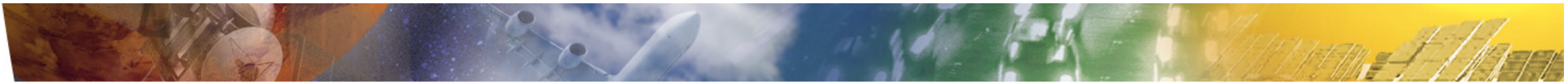
Zelle IT4 (LSM O₂-Elektrode mit Pt-Netz) und beschichteter metallischer Interkonnektor



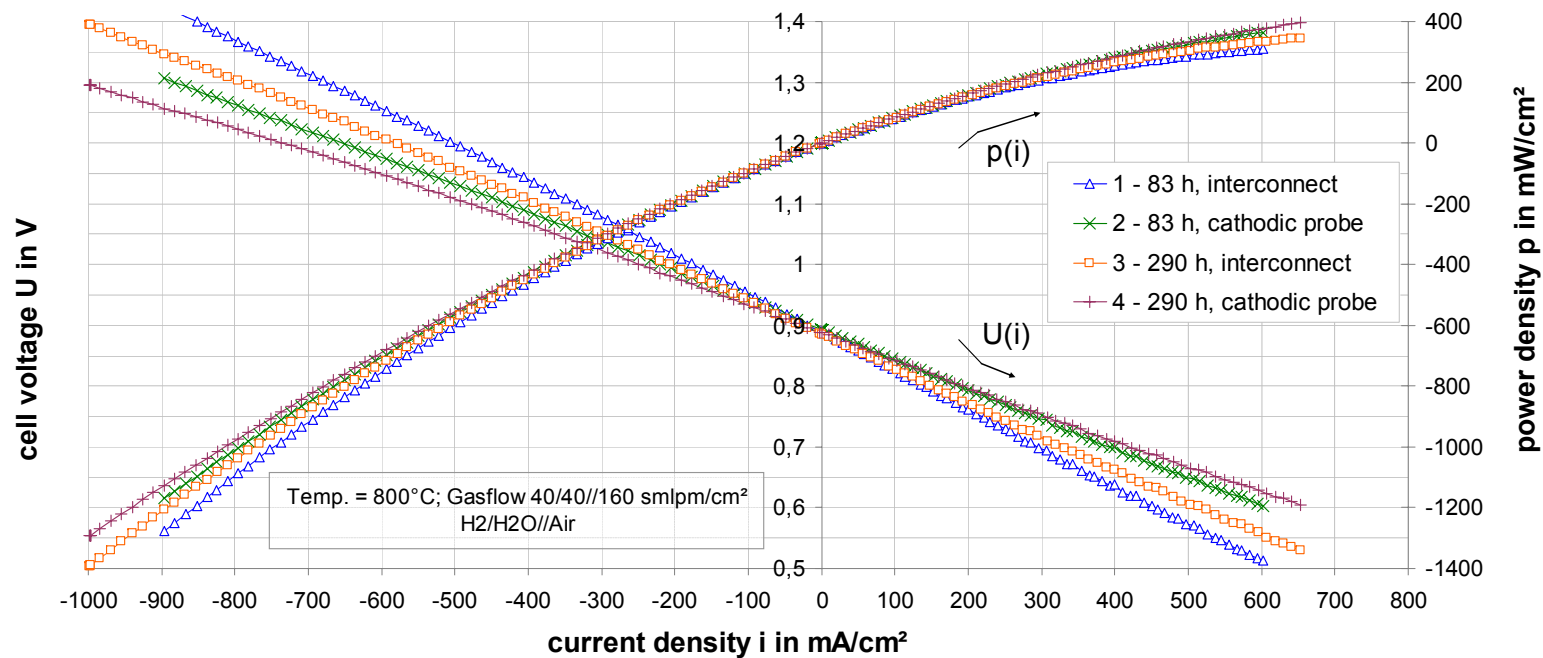
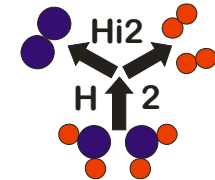


U-i-Kennlinien von Zelle IT4 mit Pt-Netz und Interkonnektor im Brennstoffzellenbetrieb

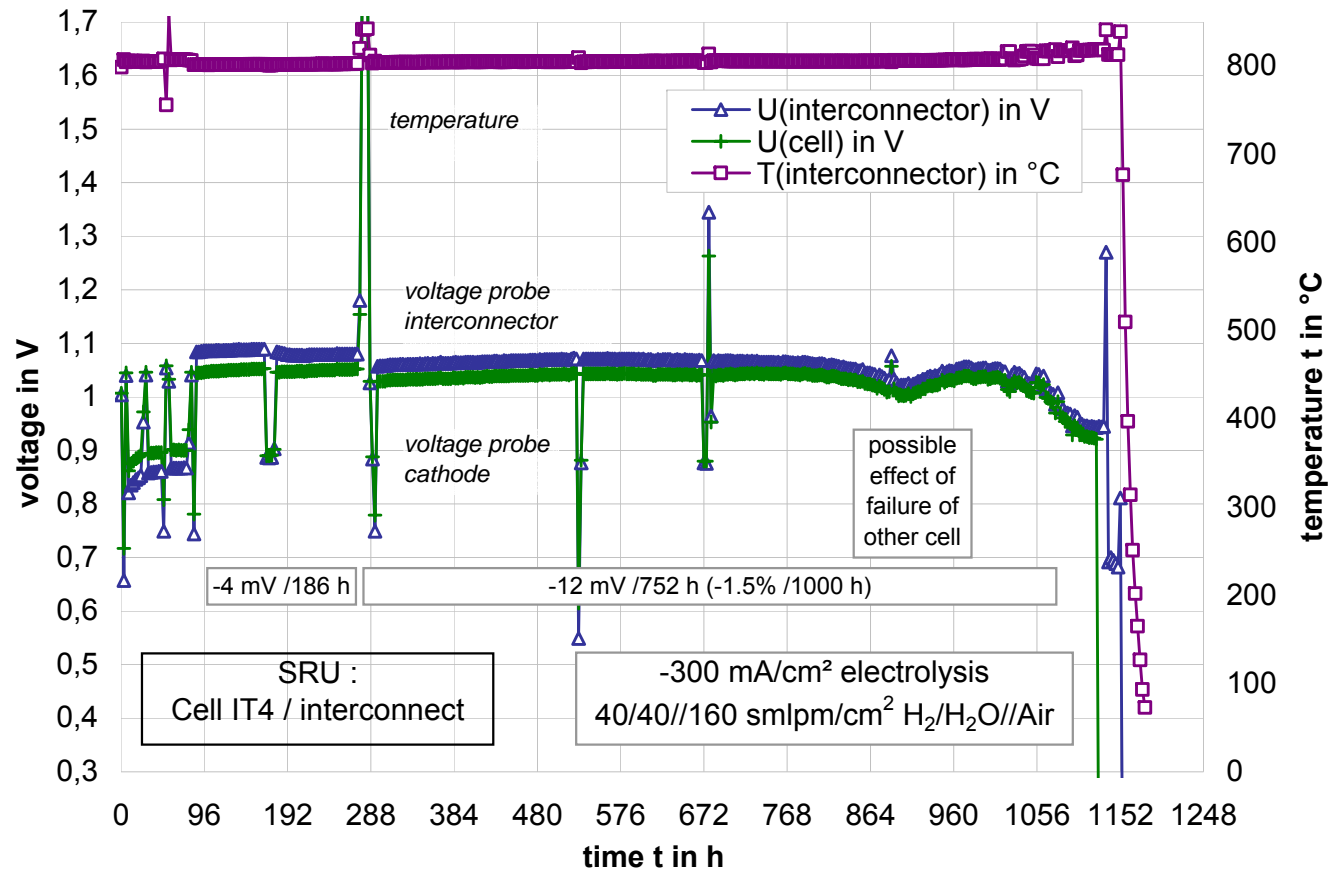
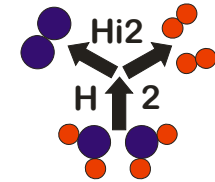




U-i-Kennlinien von Zelle IT4 mit Pt-Netz und Interkonnektor im BZ- und Elektrolysebetrieb



Langzeitverhalten von Zelle IT4 im Elektrolysebetrieb



Zusammenfassung

- Sinterzellen mit YSZ-Elektrolyt wurden bei 680 – 1000 °C bei hohen Stromdichten ($> -2 \text{ A/cm}^2$) im HT-Elektrolysebetrieb getestet. Die Zellspannungen lagen unterhalb der thermoneutralen Spannung.
- Einzelzellen zeigten im Langzeitbetrieb bis 1500 h bei $-0,3 \text{ A/cm}^2$ Degradationsraten von etwa 2%/1000 h.
- Im Langzeittest eines 5-Zellenstacks über 3500 h lag die Degradation während der ersten 2000 h bei etwa 15%/1000 h und während der folgenden 1500 h bei etwa 6%/1000 h.
- Plasmagespritzte Zellen auf ferritischen Substraten der Fa. Plansee (IT11) zeigten bei 1 A/cm^2 eine Zellspannung von weniger als 1,3 V bei 850 °C und von 1,4 V bei 800 °C sowie ein moderates Degradationsverhalten ($\sim 3,2\%/1000 \text{ h}$ über 2000 h)
- Die Degradation bei der metallgetragenen Zelle ist im Elektrolysebetrieb signifikant höher als im Brennstoffzellenbetrieb. Für einen technischen Einsatz muss in beiden Fällen die Langzeitstabilität noch verbessert werden.

